



**Министерство высшего образования, науки и
инноваций Республики Узбекистан**
Университет Аджу в Ташкенте

***Кафедра Гражданского Строительства / Систем
Окружающей Среды***

Aqua-Logiq (интеллектуальная логика воды)

Использует логические пороговые значения,
полученные из искусственного интеллекта и биологии, а
не таймеры или догадки.

Итоговый отчет по проекту
Прислал: **Бекзод Астанов**
**В.Sc. по специальности «Гражданское
строительство (гидромодуль) Университет Аджу в
Ташкенте**

Руководитель: **Д-р Пак Чан Хван**
Доцент, гидрология и механика жидкостей

Ташкент - 2025

1. Введение

В Центральной Азии и за ее пределами управление водными ресурсами вступает в критическую фазу. Изменчивость климата, стареющая инфраструктура и снижение плодородия почв сливаются в идеальный шторм, который требует более умных, экономичных и гибких сельскохозяйственных технологий. В Узбекистане, где более 90% забора воды отводится на нужды сельского хозяйства, даже 10-процентное повышение эффективности орошения может иметь глубокие экологические и экономические последствия.

Тем не менее, большинство ирригационных систем по-прежнему полагаются на устаревшую логику: фиксированный график, заранее определенная дозировка и акцент на производительности урожая в изоляции. Эти системы часто игнорируют живую экосистему почвы, атмосферные условия и сигналы обратной связи, излучаемые растениями в условиях стресса. Даже многие «умные» системы, доступные сегодня, просто автоматизируют заранее заданные интервалы или используют базовые пороговые значения влажности почвы — реактивные, а не интеллектуальные.

AquaLogiq предлагает новое направление.

Вместо того, чтобы сосредотачиваться на том, когда следует проводить орошение, AquaLogiq задается вопросом, почему и не улучшит ли это или навредит хрупкому балансу между растениями, почвой и климатом. Это не инструмент автоматизации, а механизм обоснования орошения, который опирается на многомерные входные данные: сигналы корня, активность грибковой сети, метрики микроклимата и модели эвапотранспирации, чтобы решить, как следует ответственно использовать воду.

Эта система покоится на трех ветвях:

- Биологическая осведомленность: Он интерпретирует сигналы растений и микроорганизмов как ранние индикаторы стресса или готовности, используя

биоэлектрические датчики и индексы биологической активности.

- Чувствительность к окружающей среде: Он включает в себя данные в режиме реального времени от недорогих узлов атмосферной сетки — обнаружение росы, дефицита давления пара и радиационного баланса — чтобы избежать ненужного или несвоевременного полива.
- Логическое принятие решений: Он использует модульную среду искусственного интеллекта (AquaLogiq Engine), которая взвешивает все входные данные, прежде чем предложить объемы воды, временные интервалы и режимы доставки, настроенные на потребности как сельскохозяйственных культур, так и почвы.

В результате получается система, которая не просто «знает, когда сухо», но понимает, когда орошение полезно, а когда вредно.

Рассмотрим поле лука в Навои, засеянное на суглинистой почве в необычно жарком мае. Обычное капельное орошение может подавать воду каждые 48 часов по умолчанию. AquaLogiq, с другой стороны, наблюдает, что корневая зона остается активной из-за накопления росы в течение ночи, грибковые каналы остаются нетронутыми, а ожидаемая скорость транспирации находится в пределах допустимых значений. Он откладывает полив на 36 часов, экономя сотни литров и сохраняя целостность грибка.

Но AquaLogiq не ограничивается крупными фермами с высокотехнологичной инфраструктурой. Он был задуман с учетом потребностей местных фермеров. Система построена на недорогом модульном оборудовании — зондах RootSense, патчах MusoTrace и метеоголовках AirMesh — и все это питается от солнечных батарей и подключается через простой сигнал GSM или LoRa. Данные обрабатываются локально периферийным компьютером, который может работать полностью в автономном режиме.

Затем результаты отправляются непосредственно фермерам через SMS, приложение или даже с помощью аудиоподсказок. Такие сообщения, как:

«Водное поле 2 – 180 м³ с 6:00 до 8:00 – оптимальные условия ЭТ».

Или:

«Отложите орошение. Стабильная корневая зона. Образование росы достаточно».

Этим инструкциям можно следовать, не нуждаясь в цифровой грамотности или высокоскоростном интернете. Пожилые фермеры могут получить распечатанные календари ходов, в то время как молодежь собирает и загружает журналы полей, сочетая цифровые инновации со знаниями сообщества.

Еще один ключевой принцип AquaLogiq – регенеративный приоритет. В отличие от систем, ориентированных на урожайность, AquaLogiq включает в себя модуль памяти почвы. Он отслеживает случаи чрезмерного увлажнения, потери микроорганизмов и вымывание питательных веществ с течением времени. Цель состоит не только в том, чтобы максимизировать урожай в этом сезоне, но и в том, чтобы почва в следующем году была более здоровой, чем в этом году.

Система AquaLogiq может быть адаптирована для:

- Ротационные хлопкобобовые поля в Сырдарье
- Фруктовые сады в Фергане, работающие по системе гравитационной подачи
- Зоны засоленности дынь в Каракалпакстане
- Тепличные тоннели в пригороде Ташкента

Каждый контекст содержит различные переменные, и AquaLogiq структурирован таким образом, чтобы учиться на каждой из них. Его механизм принятия решений обучен на региональных климатических условиях и доработан с помощью местной калибровки, что означает, что нет двух одинаковых установок. Это делает его устойчивым и локально реагирующим, а не универсальным решением.

Кроме того, AquaLogiq может способствовать достижению более масштабных целей в области устойчивого развития. Документируя улучшения в эффективности водопользования, содержании углерода в почве и удержании питательных веществ, система генерирует доказательства для углеродного кредитования и зеленого финансирования. Это превращает орошение не только в

решение фермерского хозяйства, но и в вклад в национальные показатели устойчивости и глобальной устойчивости.

Подводя итог, можно сказать, что AquaLogiq – это не просто новая система орошения. Это сдвиг в мышлении — от фиксированных правил в сторону адаптивной логики. Он восстанавливает процесс принятия решений в почве и растении, позволяя фермерам работать с сигналами природы, а не против них.

В следующих разделах этого отчета будут представлены архитектура AquaLogiq, основные технологии, стратегии развертывания на местах и измеримые результаты. Вместе они продемонстрируют, насколько разумное водопользование не только возможно, но и крайне необходимо для будущего сельского хозяйства в Узбекистане и за его пределами.

2. Проблемы в традиционном орошении

2.1 Устаревшие системы в условиях меняющегося климата

Методы ирригации в Центральной Азии, особенно в Узбекистане, сформированы десятилетиями зависимости от обширной инфраструктуры поверхностных вод. Обширные системы каналов, созданные в 20-м веке, остаются основным средством распределения воды на сельскохозяйственных землях. Несмотря на то, что эти сети изначально были эффективны для снабжения крупных хлопковых и пшеничных ферм, они никогда не были разработаны для обеспечения устойчивости к изменению климата, диверсификации сельскохозяйственных культур или экологической чувствительности.

В результате получается система, которая подает воду в больших объемах, но ей не хватает точности, экологичности и гибкости. По мере роста изменчивости климата — с более жарким летом, нерегулярными осадками и продолжительными периодами засухи — неспособность адаптировать доставку воды в микромасштабе становится критическим узким местом.

Традиционное орошение каналов, в частности, страдает от потерь воды на всех уровнях: утечки из необлицованных каналов, испарения с открытых поверхностей и неконтролируемого стока на полях. Зависимость от фиксированных графиков подачи воды означает, что орошение применяется независимо от того,

нуждаются в этом культуры или нет, что приводит к чрезмерному поливу в одних районах и недостаточному орошению в других.

2.2 Единообразие важнее специфичности

Одним из наиболее существенных ограничений традиционных систем орошения является предположение о том, что «один размер подходит всем». Графики полива обычно определяются только типом культуры и сезоном, игнорируя ключевые переменные, такие как:

Тип и структура почвы;

- Микротопография поля;
- Сорт культуры и глубина корневой системы;
- Преобладающий уровень ветра и радиации;
- Здоровье микроорганизмов почвы и способность удерживать воду;

Например, два поля, на которых выращивается лук, могут получать одинаковые объемы полива, но одно из них находится на супесчаной почве, а другое – на богатой глиной почве. Песчаное поле может терять воду из-за глубокого просачивания воды, в то время как глинистое поле может стать заболоченным — ни один из этих результатов не является оптимальным, и оба способствуют потере ресурсов и производительности.

Это отсутствие логики, специфичной для конкретного объекта, усугубляется отсутствием датчиков полевого уровня или диагностики. Фермеры часто полагаются на визуальные сигналы, такие как увядание или сухость поверхности, чтобы определить потребности в орошении, к тому времени посевы могут уже находиться под стрессом.

2.3 Отсутствие биологической обратной связи

Более глубокая проблема традиционных систем заключается в пренебрежении биологическим аспектом сельского хозяйства. Почвы не являются инертными средами — это живые экосистемы, состоящие из микробов, грибов, корней и органического вещества. Эти живые системы играют важнейшую роль в хранении воды, круговороте питательных веществ и здоровье растений.

Со временем беспорядочное орошение разрушает эту биологическую целостность. Избыток воды снижает доступность кислорода, что приводит к анаэробным условиям, подавляющим полезные организмы. Растворимые питательные вещества, такие как азот и калий, вымываются из организма, а структура почвы ухудшается из-за потери взаимодействия корней и микробов.

Тем не менее, большая часть логики орошения по-прежнему работает так, как будто этой динамики не существует. Не существует положений, позволяющих измерять или реагировать на дыхание почвы, микробный баланс или активность грибов. По сути, система рассматривает воду как вход, а почву как трубу, а не как партнера в процессе роста.

2.4 Реактивный, а не прогностический

Возможно, самым системным недостатком современных методов орошения является их реактивная природа. Полив происходит только при появлении симптомов стресса: поникших листьев, сухих поверхностей почвы или задержки цветения. К этому моменту растение уже страдает от физиологического спада, и потенциал урожайности находится под угрозой.

В традиционных системах отсутствует механизм прогнозирования потребностей в орошении на основе прогнозных данных, таких как:

- Прогнозируемая эвапотранспирация;
- Воздействие ветра и солнца;
- Скорость ночного охлаждения;
- Активность корневой зоны или ранняя сигнализация водного стресса;

Не имея возможности прогнозирования, фермеры либо орошают слишком поздно, либо используют воду «на всякий случай», что приводит к неэффективным результатам в обоих сценариях.

2.5 Недостаточная интеграция с современными инструментами

В то время как мобильная связь, спутниковые данные и местные датчики погоды становятся все более доступными, большинство ирригационных систем в регионе работают независимо от этих инноваций. Между инструментами управления водными

ресурсами и цифровыми платформами отсутствует тесная интеграция. Даже когда данные доступны (например, через гидрометеорологические службы), они редко превращаются в практические рекомендации для фермеров.

Этот разрыв усугубляется барьерами на пути к цифровой грамотности и отсутствием удобных интерфейсов на узбекском, русском и других региональных языках. Многие пожилые фермеры не знакомы с системами на основе приложений, а службы распространения знаний часто не могут преодолеть разрыв между данными датчиков и полевой практикой.

2.6 Экономические и экологические издержки

Последствия неэффективности традиционного орошения не являются теоретическими — они видны по всему ландшафту:

- Заболачивание и засоление затрагивают более 50% орошаемых земель в некоторых областях Узбекистана.
- Истощение водоносных горизонтов ускоряется в районах, где откачка дополняет воду из каналов.
- Потери энергии происходят из-за чрезмерного использования дизельных или электрических насосов.
- Изменчивость урожайности остается высокой даже в пределах небольших географических кластеров из-за водного дисбаланса.

Эти затраты отражаются на национальной экономике, снижая продовольственную безопасность, доходы фермеров и эффективность инвестиций в общественную водную инфраструктуру.

2.7 Вопросы сообщества и справедливости

Наконец, традиционные системы орошения часто создают неравенство в фермерских сообществах. Когда вода распределяется по фиксированному кругообороту, пользователи вверх по течению могут чрезмерно использовать свою долю, оставляя фермеров, расположенных ниже по течению, без достаточного снабжения. Конфликты возникают не только из-за сроков и объемов, но и из-за ответственности за техническое обслуживание, распределения затрат и справедливости.

Кроме того, женщины, молодежь и мелкие фермеры могут иметь меньше права голоса при принятии решений по воде, особенно когда эти решения основаны на техническом языке или непрозрачных правилах.

2.8 Заключение раздела

Подводя итог, можно сказать, что традиционная модель орошения, хотя исторически и была эффективна для увеличения производства, в настоящее время не соответствует экологическим, климатическим и социальным реалиям современного сельского хозяйства. Она не учитывает сложность, разнообразие и интеллект, заложенный в природных системах. Чтобы двигаться вперед, мы должны принять подходы к орошению, которые должны быть не только точными, но и гибкими, регенеративными и справедливыми.

В качестве одного из таких подходов предлагается AquaLogiq — система ирригационной логики, предназначенная для преодоления этих проблем путем обоснования решений биологией, прогнозированием и местной собственностью. В следующем разделе будет описана техническая архитектура и компоненты, которые делают это возможным.

3. Обзор системы: архитектура, эксплуатация и структура затрат

3.1 Основная философия дизайна

Система AquaLogiq — это не устройство, а интеллектуальная система орошения, созданная для интерпретации и реагирования на сложные сигналы на уровне поля. Он использует комбинацию биологических данных, мониторинга окружающей среды и логики с поддержкой искусственного интеллекта, чтобы определить, действительно ли требуется растениеводству, когда и сколько воды. Это решение основано не только на влажности почвы, но и на микробной активности, физиологии сельскохозяйственных культур и микроклиматическом энергетическом балансе.

По своей сути, AquaLogiq является модульным, работает на солнечной энергии и способен функционировать полностью в автономном режиме, что делает его легко адаптируемым к разнообразным ландшафтам и цифровым ограничениям Узбекистана и соседних стран.

3.2 Компоненты системы

3.3 Логика работы системы

Система AquaLogiq работает в четыре этапа:

Сбор данных:

- Зонды RootSense обнаруживают электрохимическую активность, связанную с состоянием гидратации растений.
- MycoTrace отслеживает дыхание грибков и поведение углеродного обмена.
- AirMesh собирает данные о влажности, росе, ветре, температуре и солнечном излучении.

Предиктивное моделирование:

- Все входные данные интерпретируются локально EdgeLogic с использованием сезонных кривых ET₀, наложений NDVI (из Sentinel-2) и исторических шаблонов полей.
- Профиль почвы и сорт сельскохозяйственных культур учитываются в сценариях орошения с помощью машинного обучения.

Результат решения:

- Система определяет водное окно (время + объем).
- Фермеры получают такие уведомления, как: "Водное поле #3 в четверг с 5:00 до 8:00 (рекомендуется 170 м³)."

Ведение журнала отзывов:

* Упрощенный ежедневный журнал отслеживает фактическое применение, реакцию микроорганизмов и дополнительные заметки фермера.

3.4 Конфигурация развертывания

Типичная единица площадью 5 гектаров (пригодная для выращивания хлопка, овощей или пшеницы) включает в себя:

- 10 зондов RootSense (2 на гектар)
- 5 патчей MycoTrace
- 2 метеостанции AirMesh
- 1 контроллер EdgeLogic (с солнечной батареей и корпусом)

- SMS + распечатанный комплект приборной панели (на группу фермеров))

3.5 Предполагаемые затраты (пилотный масштаб)

Годовая стоимость обслуживания: ~\$100–150 (в основном батарея, калибровка, чистка)

Срок службы: 4–5 лет (в среднем в полевых условиях)

3.6 Преимущества перед конкурирующими технологиями

3.7 Масштабируемость и кастомизация

Может быть масштабирован до 100+ гектаров с помощью цепи на основе LoRa.

Полевые узлы можно модернизировать с помощью прошивки.

Интерфейс поддерживает надстройки голосового оповещения для регионов с низким уровнем грамотности.

Будущие модули включают в себя обнаружение солености и мониторинг секвестрации углерода.

3.8 Сводка

Система AquaLogiq — это больше, чем инструмент — это стратегия. Сочетая местные знания с биологическими показателями и прогностическими данными, он переосмысливает ирригацию из добывающей отрасли в услугу по восстановлению почвы. Низкая стоимость гектара и модульный характер позволяют даже мелким фермерам внедрять его, а государственная поддержка может ускорить внедрение благодаря программам цифрового распространения знаний и субсидиям, связанным с производительностью.

4. Дислокация на месторождениях Узбекистана

4.1 Обзор: контекст развертывания

Сельскохозяйственные угодья Узбекистана сильно различаются по типу почвы, методам орошения, схемам возделывания культур и структуре общин. Эффективное развертывание AquaLogiq

требует локальной адаптации размещения оборудования, методов обучения и языка интерфейса.

Определены три основные агроэкологические зоны для поэтапного развертывания:

- Сырдарьинская и Джизакская области (орошаемые равнины с зернобобовым севооборотом)
- Каракалпакстан (бассейн Амударьи) (засоленные поля с бахчевыми, хлопчатником)
- Ферганская долина и Наманган (интенсивное садоводство и производство фруктов)

Каждая зона имеет свои ограничения и возможности для пилотного тестирования, привлечения фермеров и сравнительного анализа производительности.